「減圧症の予防法を知ろう」

発症の可能性を低減するための基礎知識

（第1版）

株式会社タバタ 企画制作部 製品広報課 編

はじめに。

スクーバダイビングは、海の中という陸上とは全く違う世界を見ることができる素晴らしいレジャーです。しかし、注意を怠ると、思わぬ事故を招く可能性があります。より安全にダイビングを楽しむために、正しい知識を身につけることは、初心者やベテランを問わず、ダイバーにとって、非常に大切なことです。

ダイバーなら一度は聞いたことがある単語「減圧症」。講習では習ったけれど、自分とはあまり縁のないものと思っていませんか？しかし、東京医科歯科大学医学部附属病院（高気圧治療部）だけでも、年間400人前後のダイバーが減圧症で治療を受けているのが現実です。全国の減圧症患者数は、年間1000人近くいると推定されており、決して他人事では済まされない問題なのです。（参考文献１） しかも、減圧症にかかった人の多くが、ダイビング中はダイブコンピューターを使用し、無減圧潜水時間を守っていることが分かっています。無減圧潜水時間を守っているのに、減圧症になってしまうことがある。これは一体、なぜなのでしょうか？実は、個人差というだけでは片付けられない、いくつかの理由があるのです。

ダイブコンピューターは減圧症を予防するために、非常に有効な器材と言えます。しかし、最新のコンピューターといえども、万能ではありません。減圧症の患者が増えてきたのは、むしろダイブコンピューターが普及してからと言われています。それは、窒素が体内に吸排出される仕組みをよく理解しないまま、ダイブコンピューターが示す無減圧潜水ギリギリのダイビングを繰り返すダイバーが多くなったことに他なりません。後で述べますが、**実は「水深15～19m前後に留まる長い箱型ダイビング」が、ある意味、一番危ないと言えるのです。**この言葉の正確な意味を「こういうことを言いたいのかな。」とすぐに予測して理解できる方は、減圧症にかかる可能性が極めて低いダイバーだと言えるでしょう。しかし、この言葉の意味を正確に判断できない方は、少し長いですが、最後まで是非読んでください。おそらく、今までのダイビングの仕方や安全に対する考え方が、いかに間違っていたかを理解する方も多いはずです。

まずは、ダイバー各々が、減圧症に対する正しい知識を身につけることが肝心です。最終的には、インストラクターやガイドダイバー、そしてダイブコンピューターに頼るのではなく、自己管理するという意識がとても大切なのです。安全にダイビングを楽しむためにも、減圧症とダイブコンピューターについての正しい知識を必ず身につけましょう。ちょっとした心がけで、これからのダイビングの安全性が飛躍的に高まるはずです。

減圧症って何？

減圧症とは、スクーバダイビングをした後に身体の中に気泡(※１)が生じる障害です。気泡が体内に残ってしまうと、身体のシビレや痛み、皮膚のかゆみ、めまい、吐き気などの症状が現れます。重度の減圧症では平衡感覚がなくなって真っすぐに歩けなくなったり、手で物を握ることが困難になったりなどの症状が出ることもあります。減圧症になった場合は、できるだけ早くチャンバー設備を持った病院で再圧治療を受ける必要があり、もしも治療が遅れると、一生後遺症に悩まされる状態になることもあります。やっかいなことは、減圧症になった場合に、筋肉痛や神経痛、頭痛などの一般症例と区別ができない時があることです。少しでも疑いを持った時は、できるだけ早く（遅くとも1週間以内）に、東京医科歯科大学医学部附属病院などの専門医がいる病院で診察を受けることが肝心です。

東京医科歯科大学附属病院チャンバー

※1　気泡……通常の空気を使用するダイビングでは主に窒素の気泡が生じます。トライミックスなどの空気以外の混合を使った場合には、窒素以外の気体による気泡が生じる場合がありますが、ここでは一般的なレジャーダイビングを例とするため、気泡は窒素と限定して記述します。

どうして身体の中に気泡ができるの？

ダイビング中、水圧がかかった状態で呼吸をすると、吸い込んだ空気に含まれている窒素が（陸上での呼吸時より多く）血液中に溶け込みます。浮上にともなって、周囲の水圧がゆるやかに低くなれば、溶け込んだ窒素は問題を起こすことなく体外に出ていきます。そして、浮上後も体内に残った窒素は、（陸上での平衡状態に戻るまで）自然に排出されていきます。しかし、**水圧の変化が急激（浮上スピードが速い）だと、窒素が体外に排出される速度が追いつかず、血液中に過剰な窒素が残ってしまいます。**残った窒素は、体内の色々な組織（部位）の中で気泡となり、血管をふさいだり、各器官の働きを妨げたりして減圧症が起こります。

窒素が血液に溶ける量はその場の水圧によって変化し、水圧が高ければ高いほど、より多くの窒素が血液中に溶け込みます。つまり、ダイビング中は水深が深ければ深いほど、より多くの窒素が体内に溶け込むことになります。また、水深とともに注意をしないといけないのが、潜水時間です。同一水深の場合は、潜水時間が長ければ長いほど、より多くの窒素が体内に溶け込むことになります。つまり、**水深と潜水時間の相関関係によって、体内に溶け込む窒素の量は決まるのです。**ダイビング中には最大水深に意識が向きがちですが、**平均水深に対する注意の方がむしろ大切だと言えます。**ダイブコンピューターは、単純に相関関係と言えないほど、複雑な計算をしています。このことは、また後の章で細かくご説明します。

浮上速度は、できるだけゆっくり。安全停止後は、更にゆっくり!

血液中の窒素を気泡にしないために、つまり、**減圧症を予防するために一番大切なことは、とにかくゆっくりと浮上することです。**浮上速度が速すぎると、体内に溶け残っている窒素が微量だったとしても、気泡ができてしまう可能性があります。ですから（無減圧潜水厳守を前提として）、水深が深くて潜水時間が長いダイビングをしても、浮上速度が過剰な窒素の排出に間に合うくらい遅ければ、理論的には気泡を作らずに水面まで浮上できます。ダイブコンピューターには浮上速度警告機能が付いているので、それを表示させ（鳴らさ）ないように潜ることが肝心です。

逆に、水深が浅くて潜水時間が短いダイビングだったとしても、油断して浮上速度が速くなれば、気泡ができて減圧症にかかってしまう可能性もあります。極めてレアなケースですが、東京医科歯科大学医学部附属病院の減圧症患者の中には、Cカード取得講習中、潜水講習後（つまり少量の窒素が体内に蓄積された状態の時）に「緊急スイミングアセント」を行ったことによって発症した例がある程です。（参考文献２） このような事例からも、**まずダイバーが身につけなければならない技術は、何よりも的確な（特に浅場での）浮力コントロールだといえます。**特に、10メートルより浅い場所での浮力コントロールが苦手なビギナーダイバーに対し、初めは重めにウエイトを装着することが推奨されているのは、潜降のしやすさというよりも、急浮上を防ぐためだと言えます。

ここでCカード取得時の各潜水指導団体の講習や、理科の授業でも出てきた水深と圧力の関係を思い出してみましょう。地上は1気圧、水深10mで2気圧、水深20mで3気圧、水深30mで4気圧と、水深が10m深くなる毎に1気圧ずつ変化していきます。水深10mでは地上にあった空気は2気圧の影響を受けて1/2の体積になります。同様に水深20mでは1/3、水深30mでは1/4となります。水深30mから20mへ浮上すると4気圧から3気圧への変化となり、体積は4/3倍に膨れます。一方、水深10mから0mへ浮上すると、体積は2倍に膨れます。つまり、**水深の浅い場所での深度変化の方が、同じ10メートル浮上したとしても気体の体積が大きく変化する**のです。

このことからも、**水深が浅くなれば浅くなるほど、浮上速度をよりゆっくり落として、注意深く浮上しなければならない**ことが分かるはずです。前回のダイビングの終了時を思い出してみてください。水深5mで3分間以上の安全停止をした後に、安心して一気に浮上していませんでしたか？ ここまで読めば、水深5mから水面まで急浮上することが、いかに危険なことだということが理解できましたよね。安全停止の後は、むしろ更にゆっくり浮上するように心がけましょう。アンカーロープがある場合は、一握りずつ浮上していくくらいの心がけが必要なのです。

ダイビング後になぜ、飛行機に乗ってはいけないの？

ダイビング終了後は、飛行機搭乗まで少なくとも12～24時間以上、減圧潜水をした場合は24～48時間以上（各潜水指導団体によって推奨時間にバラツキがあります。）の時間を空けることが推奨されています。では、なぜ飛行機に乗ってはいけないのでしょう？　あなたは、その理由を明確に説明できますか？

飛行機（ジェット機）が飛ぶのは高度約10,000m付近、大気圧がマイナス1気圧近くにもなる上空です。もちろん、このマイナス1気圧が私たちの身体に直接かかるわけではなく、飛行機内は快適に過ごせるよう圧力が調整されています。それでも10,000m付近を飛んでいる時の機内の気圧は、高度2000～2500mの気圧に相当しています。離陸前の地上圧に比べて、高度上昇中の機内は急激に気圧が低くなりますので、体内に溶け残っていた窒素が急膨張して気泡化することがあります。つまり、飛行機に搭乗することは、ダイビング中に急浮上をした時と同じ現象を引き起こすことになるのです。簡単な話に置き換えると、飛行機内に持ち込んだお菓子の袋が、上空で一杯に膨れ上がるのを見たことがある方は多いことと思います。体内に残った窒素の状態もそうなる可能性があるということです。

ですから、**飛行機に乗る時には、完全に体内から窒素が排出された状態でなければなりません。**その時間の目安が無減圧潜水後12～24時間というわけなのです。殆どのダイブコンピューターには、体内から窒素が完全に排出される予想時間が表示されます。これが一般的には、残留窒素排出時間とか飛行機搭乗禁止時間とか呼ばれているものです。**飛行機に搭乗する時には、最低でもこれらの表示がゼロになっている必要があります。ダイビングの仕方によっては、もちろん残留窒素排出時間が24時間以上かかることがあります。**

意外な落とし穴。ダイビング後の高所移動。

また、周囲圧が低くなるのは、飛行機搭乗に限ったことではありません。意外な盲点が、特に車による高所移動です。東京医科歯科大学医学部附属病院では、ダイビング終了後の山越えが原因とみられる減圧症例が多数あることを学会などで報告しています。（参考文献３） 一般的に、標高300～400m以上であれば、車や電車などによる山越えも高所移動に該当します。例えば、関東地方の代表的なダイビングエリアである伊豆の場合、伊豆スカイラインや箱根ターンパイク（現トーヨータイヤターンパイク）を利用すると、標高700m～1000m。多くのダイバーが利用する東名高速の御殿場付近でも、標高454m。このような車による山越えは、飛行機搭乗ほどではないものの、かなりの気圧変化が身体に加わることになります。現実に、（高所移動の部類でも比較的標高の低い）東名高速道路を利用したことによって減圧症を発症したと考えられるダイバーの数は少なくありません。

せっかく無減圧潜水を遵守して慎重に浮上しても、ダイビング終了後、間を空けずに高所移動をすれば、体内に溶けて残っている窒素が気泡になる可能性が高くなります。まずは、窒素をできるだけ体内（特に「遅い組織」（P.8参照））に残さないようなダイビングを心がけ、高所移動をする際には、ダイビング終了時からできるだけ時間を空けてから通過するようにするなど、十分な注意が必要です。例えば西伊豆で、日帰りでダイビングを2本する場合は、昼食はダイビング終了後まで待って現地でゆっくりとするなどして、高所移動までの時間を長くするような計画性が必要です。ダイビング終了後は、現地で仮眠をとったり、平地で観光や食事、温泉をのんびり楽しんだりしてから高所を通過するなど、ちょっとした工夫次第で、より安全にダイビングを行うことができるのです。

また、やむを得ず標高が高い道路を通過する場合には、事前に各ルートの標高を確認しておく必要があります。場所によっては、遠回りをしてでも標高の低いルートを選択して帰るくらいの心構えが、安全なダイビングにつながります。ダイブショップのツアーに参加した時、ダイビング終了後にあまり間を空けずに高所移動をすることがあったら、スタッフに減圧症は大丈夫かどうかを確認するようにしてください。東京医科歯科大学医学部附属病院の推奨では、**ダイビング終了後、高所移動まで5時間以上空けることが、安全上望ましいとされています。**（参考文献２） **もちろん、その時間は本来、体内に残っている窒素の量で決まります。吸排出の「遅い組織」（次章参照）に窒素を多く残していなければ、理論的にはそれ程時間を空けなくても大丈夫な場合があります。しかし、いかなる場合であっても、体内に残留窒素がある状態で、標高600mを越えるような道路を通過することは危険**だと言えます。（参考文献５）

伊豆半島のダイビングポイント付近道路の標高例（出典1）

比較的安全な高所道路（潜水終了後、充分に時間を取ってから通行すること）

- 熱函道路鷹ノ巣トンネル付近：431m
- 東名高速道路御殿場I.C.付近：454m
- 国道136号線船原峠付近494m

危険な高所道路（残留窒素がある状態では通行しないこと）

- 静岡県道18号線戸田峠付近：738m
- 伊豆スカイライン熱海峠付近：747m
- 国道138号線乙女峠付近：829m
- 国道1号線箱根峠付近：874m
- 静岡県道59号線仁科峠付近：947m
- 箱根（トーヨータイヤ）ターンパイク大観山山頂付近：1025m

吸排出の「速い組織」と「遅い組織」があることを知ろう

人間の体において、窒素が溶け込む部分(組織)によって、窒素の溶け込む速さや、窒素が体外に出ていく速さが異なります。例えば、筋肉や、脳、脊髄、皮膚、肺、腎臓、肝臓などは窒素が溶け込みやすく、排出されやすい組織とされています。よって、これらの組織はダイビング中にたくさんの窒素を溶け込ませますが、浮上するに従って素早く排出されます。これが窒素に対する反応が「速い組織」です。逆に、骨や関節、靭帯、脂肪、骨髄などは窒素が溶け込みにくい組織とされています。よって、一旦溶け込んでしまうと、排出もされにくいという特徴があります。少しずつ窒素を溶け込ませていくので、体内に残る窒素量は少ないように思われますが、浮上してもなかなかすぐには排出されず、完全に窒素が排出されるまでには時間がかかります。これが窒素に対する反応が「遅い組織」です。

※窒素の吸排出が一番「速い組織」を、蓋が開いたお酒などの一升瓶、窒素の吸排出が一番「遅い組織」を、アルミの蓋にごく小さな穴を開けたヤクルトなどの乳酸菌飲料の容器、と仮定すると分かりやすくなります。一升瓶を水中に沈めて圧力をかけると、内容積は大きいけれど蓋が開いているので、乳酸菌飲料の容器より早く水が一杯になります。乳酸菌飲料の容器は、内容積は小さいけれど穴が小さいので、水が一杯になるまでにかなりの時間がかかります。逆に中の水を出す時も同様のことが言えます。

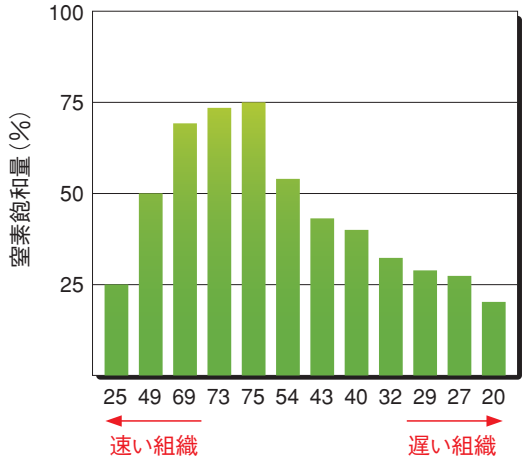
ここまで読んだ方は、気がつかれたかもしれませんが、ダイビング終了時点では問題がなかったのに、**飛行機搭乗や高所移動によって減圧症にかかってしまったケースの大部分が、窒素の吸排出が「遅い組織」に窒素を残していたことによって起こっています。**余程すぐに飛行機に乗ったり、山越えをしたりしない限り、「速い組織」の窒素は殆どの場合、排出されてしまっているからです。もちろん「遅い組織」に窒素を限界まで溜め込んだ状態にすることは、急浮上した場合にも危険ですし、あらゆる意味で一触即発の状態を作り上げると言っても過言ではありません。

※実際には「中間的な組織」などもあり、組織ごとの窒素の吸排出スピードは細かく分かれています。
また、減圧症の症例は非常に複雑で、上記のケースの全てが「遅い組織」に起因する訳ではありません。

ダイコンも「速い組織」と「遅い組織」に分けて計算している!

さて、これまで、人間の身体に窒素が取り込まれる時には、一律に吸収されるのではなく、「速い組織」や「遅い組織」など各部位や水深に応じて、窒素の取り込まれ方が異なることを述べてきました。ダイブコンピューターは、これらの違いを考慮して、無減圧潜水時間などを計算しています。現在市場にある多くのダイブコンピューターが、1908年に開発されたいわゆるスイスモデルという減圧モデルをベースに改良を加えて作られています。減圧モデルとは、あるダイビング中にどれだけの窒素を人体に取り込むのかを、数学的に探ろうとするものです。ここから、深度と各水深の滞在時間により、どのように窒素が体内に溶け、排出されるかの計算ができたり、人間の体には窒素を取り込み排出する速度が「速い組織」と「遅い組織」があることを踏まえて計算されたりするようになりました。この人体の組織は「速い組織」から「遅い組織」まで、おおよそ6〜12程度に分類され、それぞれ計算されますが、この分類をコンパートメント（仮想組織）と呼んでいます。ダイブコンピューターは、各コンパートメントに取り込むことができる最大限の窒素量を、コンパートメントごとに独立して計算しながら、トータル的に無減圧潜水時間などを示しています。

窒素飽和量（図1）



（図1）に見られるバーグラフのバー1本1本が１つのコンパートメントを示しています。ここでは1つのグラフの中に12のバーがあります。つまりこれは組織を12個に分類して計算しているコンピューターで、「12コンパートメントのダイブコンピューター」ということになります。一般的なダイブコンピューターでは、「遅い組織」の計算を考えると、コンパートメントの数が12以上は欲しいところです。向かって左側が窒素の吸排出の「速い組織」、右側が「遅い組織」に該当するコンパートメントです。

ここからちょっと専門的な話をします。体内の組織に溶け込もうとする窒素は、最初は早く溶け込み、溶け込む量が増えるに従って次第にゆっくり溶け込むようになり、最終的には非常にゆっくりとその時の水圧に応じた値に飽和（これ以上溶け込まない状態になる）します。その最終的に飽和する値に対して半分に達する時間をハーフタイム（半飽和時間）と 呼び、ダイブコンピューターの減圧計算の基本値となっています。

細かい話をすると、通常の大気圧においても飽和量があり、窒素が体内に吸排出されています。すなわち、高所に移動したり、飛行機に乗ったりすると周囲圧が下がるので、体内からは窒素が微量に排出されていき、平地に戻ると窒素が取り込まれて元の状態に戻ります。ですから、平地においても気圧の変化によって体内の窒素量は微量に変化しているのです。平地にいる時に体内の窒素量が完全にゼロなのではなく、ダイブコンピューターは平地の状態をゼロ基準に計算しているというわけなのです。

さて、体内の組織内における窒素の吸収や排出の様子は、体内の各組織において大きく異なります。血液循環の盛んな組織＝「速い組織」は、潜降（周囲圧が上昇する）時は速く窒素が溶け込み、浮上（周囲圧が低下

する）時は速く窒素が排出され、よりたくさんの過剰な窒素を許容することができます。逆に、血液循環が活発でない組織＝「遅い組織」ほど、潜降時は遅く窒素が溶け込み、浮上時は遅く窒素が排出され、また許容できる過剰な窒素は少なくなります。つまり、前者はハーフタイム（半飽和時間）が短い組織、後者はハーフタイム（半飽和時間）が長い 組織とも呼ばれています。

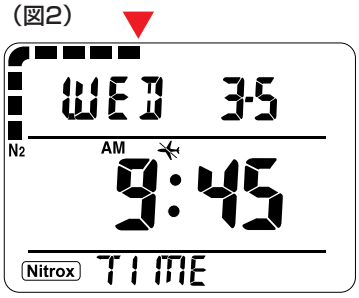
複雑なことに、浮上時は周囲の圧力が低下して体内の窒素は排出されていきますが、排出だけを行っているわけではありません。「速い組織」は窒素の吸収と排出の速度が速いため、組織内の窒素圧が短い時間で周囲の圧力と平衡になります。このため、浮上時に周囲の圧力が低くなると、それに応じて窒素を排出します。しかし、「遅い組織」では周囲の圧力と平衡になるまでの窒素を吸収するのに時間がかかるため、通常これよりも少ない量の窒素しか溶け込んでいません。ですから、浮上時においても周囲の圧力より組織内の窒素圧が低いので窒素を吸収します。つまりダイブコンピューターの計算上では、コンパートメントごとに、窒素を吸収方向に計算しているものと、排出方向に計算しているものに分かれる状態になります。

また、体内組織にある限度を越えて窒素が蓄積してしまうと、体内組織の窒素が排出されるまで、一定水深に留まっている必要があります。すなわち、減圧停止（DECO）をする必要が生じます。この限度の窒素量のことを一般的にM値（減圧不要限界値）と呼んでいます。一般的なダイブコンピューターは、残留窒素バーグラフが一杯（全て点灯）になると、減圧ダイビングに切り替わるようになっています。しかし、やはり前章で述べたように、1本バーのグラフだけでは、「速い組織」に取り込まれた窒素がM値を超えたのか、「遅い組織」に取り込まれた窒素がM値を超えたのかまでは、一見したところでは分かりません。しかし、どの組織がM値を超えたのかを理解することは、本来はとても重要なことだと言えます。

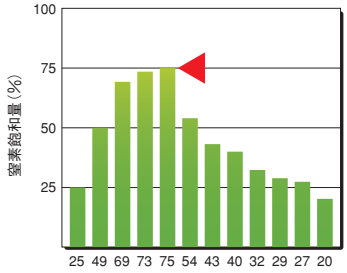
残留窒素バーグラフの見方

一般的なダイブコンピューターには、残留窒素のバーグラフが備わっているものが多いですが、1本バーのグラフだけでは、「速い組織」に取り込まれた窒素が表示されているのか、「遅い組織」に取り込まれた窒素が表示されているのか、一見したところでは、その内容までは分かりません。**1本バーグラフの場合は常に、その時点で最もM値（減圧不要限界値）に対するパーセンテージの高い組織（※残留窒素量と呼ばれますが、厳密には窒素の絶対量ではありません。）の状態が表示されています。つまり、刻々と表示されている組織が変わっているのです。**減圧理論に精通していれば、残留窒素排出時間や、飛行機搭乗可能時間をチェックすることによって、ある程度はどちらの組織かが分かりますが、これは現行のダイブコンピューターの不備な点だと言えます。

（図2）



窒素飽和量（図3）



通常の1本バーのバーグラフ（図2）のN_2の場合、ダイブコンピューターの各コンパートメントの、その時点での窒素飽和量（%）が最も高いものが表示されます。つまり、（図3）であれば、75%の値を示しているコンパートメントが表示されます。ダイビング中は、ダイビングの仕方によって最も高い組織は刻々と変化し、ダイビング終了後は時間が経つにつれ、右側の「遅いコンパートメント」が表示されるようになります。

ちょっと話が難しくなりましたね。分かりやすく説明してみましょう。クイズを出します。AさんとBさんが全く同じ潜水時間のダイビングをしました。浮上後、二人のダイブコンピューター上には残留窒素のバーグラフに、5ドットがそれぞれ点灯していました。しかし、同じ水面休息時間を取った後に見てみると、Aさんの方が窒素のバーグラフが早く減って1ドットを示しているのに、Bさんの窒素のバーグラフはまだ3ドットを示しています。これは一体何故なのでしょうか？

その理由は窒素の内容にあります。Aさんは、体内の「遅い組織」に窒素があまり残っていなかったのに対し、Bさんは、「遅い組織」に窒素が多く残っていたのです。Bさんは、Aさんと異なったダイビングパターンをしたために、吸排出の遅い組織に多くの窒素を残し、バーグラフの数値が減るのに時間がかかっているのです。即ち、Bさんの方が、より減圧症になる可能性が高いダイビングをしたと言えるのです。後で詳しく述べますが、**「遅い組織」にできるだけ窒素を残さないようにすることが、減圧症にかからないために、極めて重要なことだということを、しっかりと認識するようにして下さい。**

ある意味、最も危ない「水深15～19mあたりの長い箱型反復潜水」

さて、ここからが、話の核心部分です。テクニカルダイビングをしている方や、減圧理論に精通している方なら良く分かっていることですが、おそらく殆どのダイバーが知らない事実です。目からウロコ的な内容だと感じる方も多くいるかもしれませんが、この章の内容は、減圧症を防ぐためにはとても大切なことです。最後まで読んで、頭の中にしっかりと叩き込むようにしてください。

ところで、吉田兼好の徒然草第百九段に「高名の木登り」という話がありますが、ご存知ですか？ 概略はこうです。《弟子が高い木に登って梢を切る作業を見守っていた「木登りの名人」は、弟子が危険な高い所にいる時には何も言いませんでした。しかし、作業を終えて軒のあたりまで降りて来た時に、「気をつけろ！」と初めて声を掛けました。側で見ていた人は怪訝に思って、「危険な高い所にいた時には注意しなかったのに、安全な所まで降りて来た時に注意したのはどういう理由ですか？」と尋ねました。すると「木登りの名人」はこう答えました。「高くて危険な所にいる時には、人は誰でも注意するものです。安全な所に降りて来た時にこそ気が緩むから、その時に注意してやることが大切なのです。」》

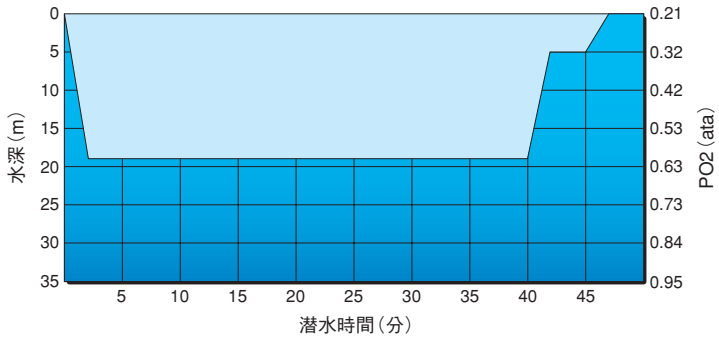
突然、古典の話を持ち出しましたが、ダイビングにも同じようなことが当てはまります。水深30m近くでダイビングをしている時は、どのダイバーも水深や無減圧潜水時間に注意が働き、そして緊張し、用心するものです。しかし、水深20m前後ではどうでしょうか？ 特に水深20mを切った19mあたりになると、さすがに警戒意識が薄れてくるものです。「深く潜るダイビングは危険で、浅く潜るダイビングは安全。」その考えは基本的には正しいのですが、正確な知識がないと非常に危険な部分を含んでいます。

水深15m～19mあたりというのは警戒意識が薄れるとともに、それ程深くはないので、タンクのエアー持ちが結構良くなります。また、無減圧潜水時間も長いので、特に水中写真派ダイバーなどは、ギリギリ（無減圧潜水時間2分～5分）まで良い写真を撮ろうと粘ってしまいがちになります。また、いざ減圧潜水に切り替わったとしても、エアーが残っているので大丈夫だと、少し軽く考えがちにもなります。実は、このような潜水パターンこそが非常に危険なのです。水深20m手前で減圧症に関わってくる組織は、ハーフタイムで言うと40分前後の組織です。反復潜水になると、更に60分、75分前後の組織で減圧症のリスクが増してきます。これらの組織は窒素の溶け込みもゆっくりですが、排出もゆっくり（窒素の排出には、吸収される時より、かなり時間がかかると考えられます。）です。ということは、**許容窒素量の限界まで溜め込むと、たとえダイブコンピューターが示す無減圧潜水の範囲内でも、一触即発の危険状態になります。つまり、ちょっと浮上速度違反をしたり、ダイビング後に十分な間を開けずに高所移動をしたりすると、減圧症を引き起こす可能性が高くなるのです。**

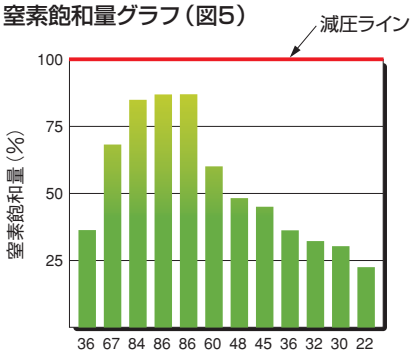
常識的（初めに最大水深に到達して、後は浮上していく）なパターンのダイビングを行った場合、1本目のダイビングで、水深30mを超えるような深いところで減圧潜水に切り替わった時は、「速い組織」が反応していますので、すぐに浮上して行けば、減圧停止時間は短く（往々にして減圧停止指示深度に上がる途中で無減圧潜水に戻ります。）、そのまま浅い所にいて再び深い所に行かない限りは、それ程「遅い組織」に窒素を溜め込むことはありません。しかし、水深19mくらいの水深で箱型潜水をしていて減圧潜水に切り替わった場合は、前述のように「遅い組織」に窒素を非常に多く溜め込んだ状態になります。

分かりやすく説明するために、TUSA　IQ-800，700のパソコン転送ソフトのダイブシミュレーション機能を使って、「1本目最大水深30メートル、2本目最大水深25メートル、3本目最大水深20メートルの無減圧通常反復潜水」と「1本目～3本目ともに水深19mに留まった無減圧箱型反復潜水」を例に挙げて、窒素の状態を確認してみましょう。「潜水グラフ」（図4）は、縦軸が水深、横軸が潜水時間を表しています。つまり、ダイビングの軌跡と言えるものです。また「窒素飽和量グラフ」（図5）は、前述の「速いコンパートメント」から「遅いコンパートメント」まで12の独立したコンパートメントのそれぞれ窒素量を示しています。どの組織かが100%を超えると減圧潜水に切り替わります。

潜水グラフ（図4）

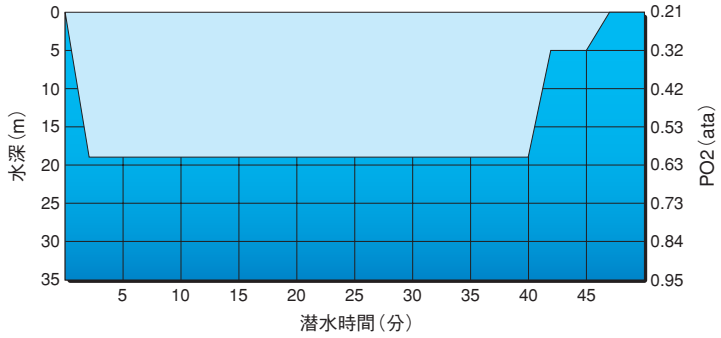


窒素飽和量グラフ（図5）

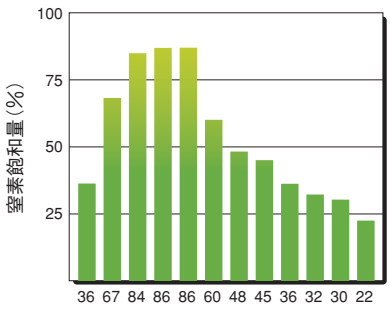


水深19m箱型潜水（47分）1本目の潜水グラフと浮上時点の飽和窒素量

潜水グラフ（図6）

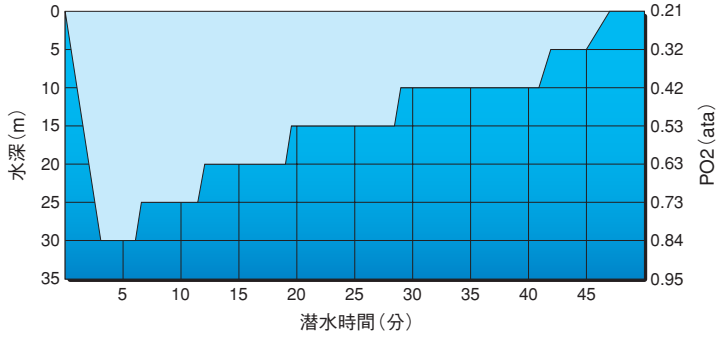


窒素飽和量グラフ（図7）

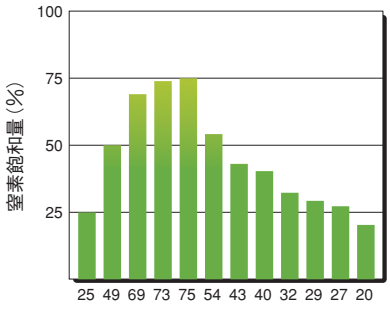


最大水深30m模範潜水（47分）1本目の潜水グラフと浮上時点の飽和窒素量

潜水グラフ（図8）



窒素飽和量グラフ（図9）



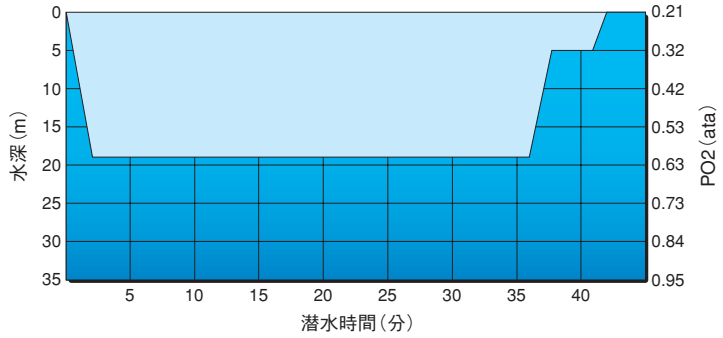
最大水深30mまで潜っても、段階的に浮上していけば、水深19mにずっと留まる箱型潜水よりも潜水終了時点の窒素の量が少ないことが分かります。※模範潜水はもっとなめらかな潜行の軌跡を描くべきですが、比較のために停滞しながら段階浮上させています。

（図6）、（図7）は、水深19mに潜水開始2分後からずっと停滞して、無減圧潜水時間2分まで粘って浮上開始。水深5mで3分間の安全停止をした後、ゆっくりと水面に浮上したという完全な箱型のダイビングパターンです。また（図8）、（図9）は、潜水開始後3分で最大水深の30mに達して4分停滞。その後は段階的に5mずつ停滞水深を上げていき、水深5mで3分間の安全停止をした後、残りの5mをゆっくりと浮上したという模範的なダイビングパターンです。どちらのパターンも潜水時間は全く同じ47分です。

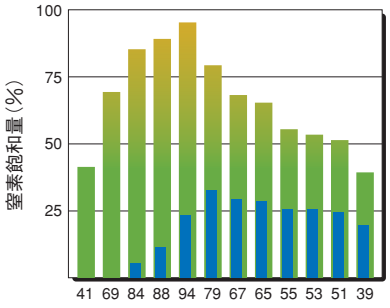
比較していただくとお分かりのように、水深30mまで潜った模範的なダイビングより、水深19mにずっと停滞していた箱型のダイビングの方が、窒素（グリーンのバーグラフ）を全体的に多く溜め込んでいることが分かります。このような状態を2本、3本と反復して重ねていくと、その差はより顕著に現れてきます。以後、TUSAダイブコンピューター上のコンパートメントの左側4本を「速いコンパートメント」、真ん中4本を「中間的なコンパートメント」、右側4本を「遅いコンパートメント」と便宜上呼ぶことにします。

水深19m箱型潜水（42分）2本目の潜水グラフと浮上時点の飽和窒素量

潜水グラフ（図10）

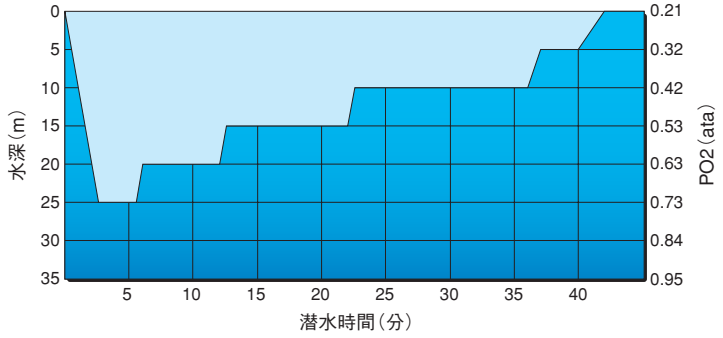


窒素飽和量グラフ（図11）

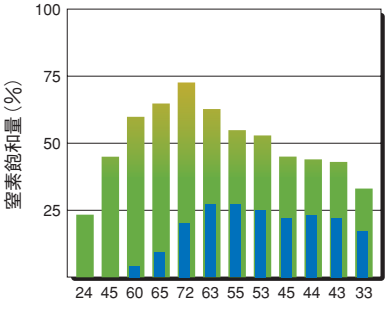


最大水深30m→25m模範潜水（42分）2本目の潜水グラフと浮上時点の飽和窒素量

潜水グラフ（図12）



窒素飽和量グラフ（図13）



青色のバー部分は、1時間半水面休息した後の、1本目の残留窒素の状態で、2本目以降は上積みされていきます。2本目模範潜水は、1本目最大30m、2本目も25mまで潜っていますが、段階的に浮上しているために、水深19mに留まる箱型潜水より体内の窒素量が少ないことがよく分かります。

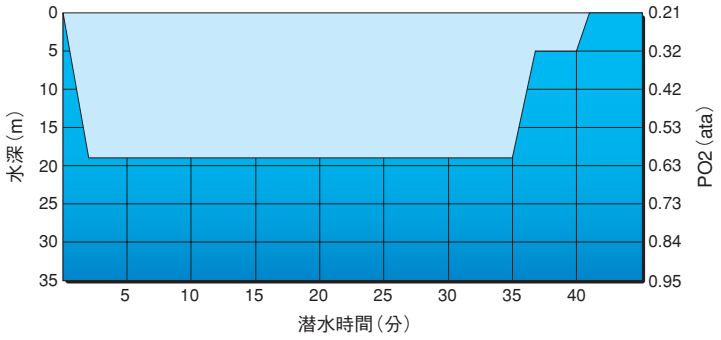
（図10）、（図11）は、水面休息時間を1時間半とり、1本目と同様に水深19mに潜水開始2分後からずっと停滞して、無減圧潜水時間2分まで粘って浮上開始、水深5mで3分間の安全停止をした後、ゆっくりと水面に浮上したという完全な箱型の反復ダイビングパターンです。また（図12）、（図13）は、水面休息時間を1時間半とり、潜水開始後2分30秒で最大水深の25mに達して3分停滞。その後は段階的に5mずつ停滞水深を上げて、水深5mで3分間の安全停止し、ゆっくりと水面に浮上したという模範的な反復ダイビングパターンです。どちらのパターンも潜水時間は42分です。模範潜水に関しては、「反復潜水の場合は最大深度を段階的に上げていく」という基本ルールにのっとっています。

ここまで来ると、その差は歴然として来ます。特に水深19mの箱型潜水2本目の場合は、浮上直後に「中間的なコンパートメント」がM値（減圧不要限界値＝バーグラフで100のライン）寸前の状態であることが分かります。また、1本目に加えて「遅いコンパートメント」に、より多くの窒素を溜め込んでいることも分かります。

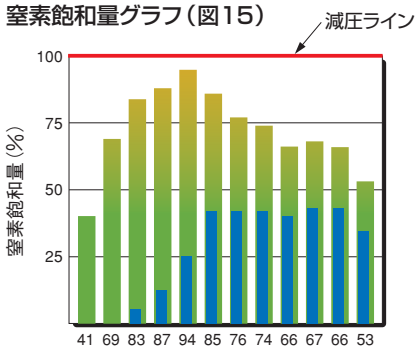
更に日帰りのダイビングでもすることがある3本目のダイビングを行うと、残留窒素の状態がどうなるかを見てみましょう。面白い現象が出てきます。

水深19m箱型潜水（41分）3本目の潜水グラフと終了時点の飽和窒素量

潜水グラフ（図14）

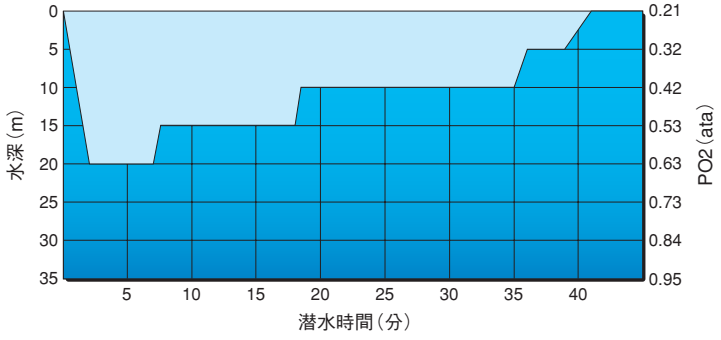


窒素飽和量グラフ（図15）

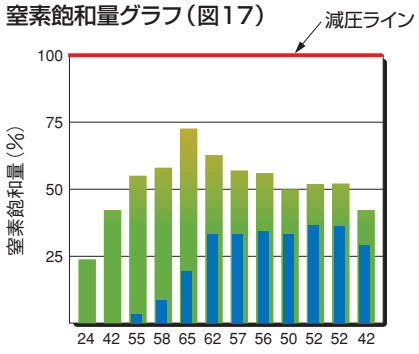


最大水深30m→25m→20m模範潜水（41分）3本目の潜水グラフと終了時点の飽和窒素量

潜水グラフ（図16）



窒素飽和量グラフ（図17）



（図14）、（図15）は、水面休息時間を1時間半とり、1～2本目と同様に水深19mに潜水開始2分後からずっと停滞して、無減圧潜水時間2分まで粘って浮上開始、水深5mで3分間の安全停止をした後、ゆっくりと水面に浮上したという完全箱型のダイビングパターンです。また（図16）、（図17）は、潜水開始後2分で最大水深の20mに達して5分停滞。その後は段階的に5mずつ停滞水深を上げて、尚且つ停滞時間を均等に少しずつ延ばしていき、やはり、水深5mで3分間の安全停止。残りの5mをゆっくりと浮上したという模範的なダイビングパターンです。どちらのパターンも潜水時間は41分です。模範潜水は、反復潜水の場合は最大深度を段階的に上げていくという基本ルールにのっとり、最大水深を20mに上げてあります。

水深19mの箱型潜水は、水面浮上直後には2本目同様に「中間的なコンパートメント」がM値（減圧不要限界値＝バーグラフで100のライン）寸前の状態であることが分かります。注意しなければいけないのは、更に「遅いコンパートメント」に窒素を顕著に溜め込んで来ているということです。模範潜水の場合は、特に後半に浅い水深に長くいたこともあって、全体的に少ない窒素量にまとまっています。当然、仮に4本目も同じ

ようなダイビングをすると、水深19mの箱型潜水の場合は、「遅いコンパートメント」に更に多くの窒素を溜め込むことになってしまいます。安全率を考えると、**潜水終了時点で「遅いコンパートメント」（右側4本のバーグラフ）が、M値（減圧不要限界値）に対して50%を大きく超えないようなダイビングをできるだけ心がける必要があります。**

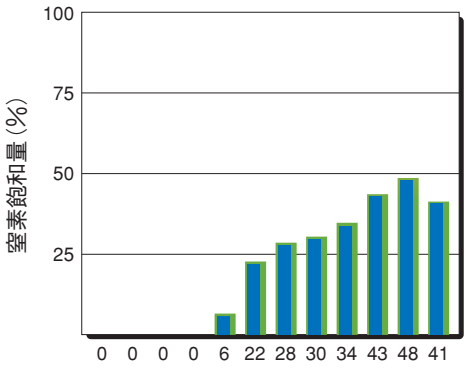
そういう観点では、シミュレーション上の19m箱型潜水は危険、水深30m模範潜水でギリギリラインということが言えます。海外のダイビングスポットには無制限ダイブを売りにしているところがありますが、ダイブコンピューターの無減圧潜水時間を守ってさえいれば大丈夫だと考えることは非常に危険です。残留窒素のバーグラフや残留窒素排出時間（飛行機搭乗禁止時間）も必ず確認して、**窒素を体内（特に許容性のない遅い組織）に取り込み過ぎないような、無理のない反復潜水計画を立てるようにすることが大切です。**

高所移動時の注意点

ここで、比較してきた「1本目～3本目ともに水深19mに留まった無減圧箱型反復潜水」と「1本目最大水深30m、2本目最大水深25m、3本目最大水深20mの無減圧模範反復潜水」のそれぞれ潜水終了3時間後の体内の窒素の状態を見てみましょう。（図18）を見るとお分かりのように、水深19mの箱型反復潜水の場合は、3時間経過してもまだ「遅いコンパートメント」に48%の窒素を残しているものがあります。（図19）の最大水深30mの模範反復潜水の場合も、さすがに3本の反復潜水であったことと、1本目のダイビングで割と深い位置に長くいたこともあって、同様に38%の窒素を残しているものがあります。この状態では、**前に述べたような東名高速御殿場付近を通過するような比較的低目の高所移動でも減圧症発症の可能性があり、通行することは危険だと言えるでしょう。**

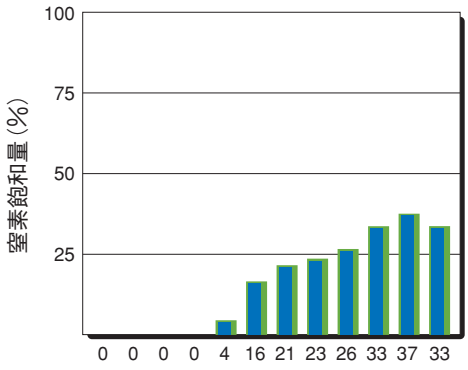
潜水終了3時間後の窒素量の比較

窒素飽和量グラフ（図18）



水深19m箱型反復潜水の3時間後窒素量

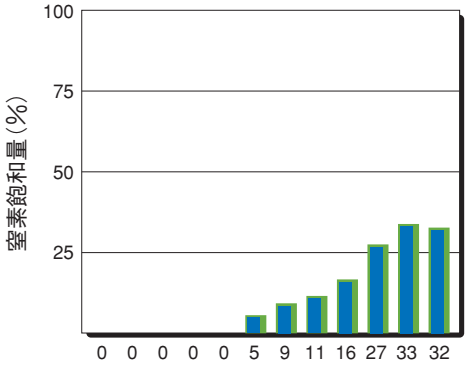
窒素飽和量グラフ（図19）



最大水深30m模範反復潜水の3時間後窒素量

では、どのくらいまで「遅いコンパートメント」の窒素が減ったら安全率が高まるのか？ 東京医科歯科大学医学部附属病院（高気圧治療部）では、高所移動によって減圧症が発症したと考えられるケースの統計データから、一日の反復潜水においては、高所移動をする際には潜水終了から5時間以上空けることを推奨しています。（参考文献２）

窒素飽和量グラフ（図20）



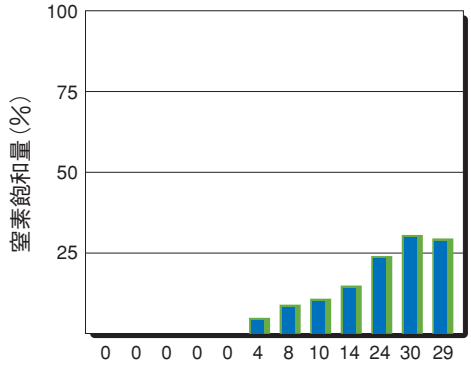
そこで、安全率をプラス1時間加味して、水深19mの箱型反復潜水の終了6時間後の窒素の状態をシミュレートしてみましょう。（図20）のように、6時間後には「遅いコンパートメント」で33%が一番高い値となっています。そして、シミュレートを更に続けると、一番高い値が25%に減るのが、8時間20分後。全ての窒素が排出されてゼロになるのは、26時間40分後となります。つまり、飛行機に搭乗するとしたら、約27時

間後に乗らなければいけない程、窒素が溜まっている状態です。※最後まで残るのは一番右のコンパートメントです。

東京医科歯科大学医学部附属病院の高所移動による減圧症患者の潜水プロファイルには、減圧ダイビングをした例もあります。しかし、無減圧潜水とは言え、3本の反復潜水としては、このシミュレーションの例はかなり厳しい条件の部類です。ですから、減圧症を防ぐためには「遅いコンパートメント」で30～33%以下に窒素を減らしてから、高所移動をすべきではないかと弊社では考えます。もちろん、個人差などがあるので、100%防げるとは言えませんが、**このように安全マージンを大きくとる考え方をすれば、少なくとも高所移動によって減圧症を発症する可能性は、かなり低くなるはずです。逆に言えば、高所移動をする際に「遅いコンパートメント」の残留窒素が30～33%以下になるようなダイビング計画を心がける必要があります。**

※弊社では、今後東京医科歯科大学などに協力を依頼し、高所移動による減圧症発症と残留窒素量の因果関係の研究をしていく予定です。

窒素飽和量グラフ（図21）



ちなみに、水深19mの箱型反復潜水の3本目だけを32%のナイトロックスで潜るとどうなるかを見てみます。全く同じ潜水プロファイルで潜った場合、終了後6時間を経過した時点で、（図21）のように、「遅いコンパートメント」で30%が一番高い値となります。たった3%のようですが、**「遅いコンパートメント」においての3%は大きいので、減圧目的でナイトロックスを使用する価値はあると言えます。**

※ナイトロックスを使うとダイブコンピューターが表示する無減圧潜水時間が延びますが、当然、延ばしては安全性が向上しません。

さて、あなたは今までダイブコンピューターを陸上でどう使ってきましたか？ 単なるログ付けの道具になっていませんか？ ここまで読むと、減圧症を予防するためには、水面休息時間の過ごし方や、ダイビング終了後の過ごし方も大切なことが分かってきたはずです。特に反復潜水をする場合は、1本目の潜り方によって体内に溶け込んでいる窒素の量が異なるので、その時の窒素量を踏まえて、2本目以降のダイビングをどのように行ったらよいかをイメージすることが肝心なのです。

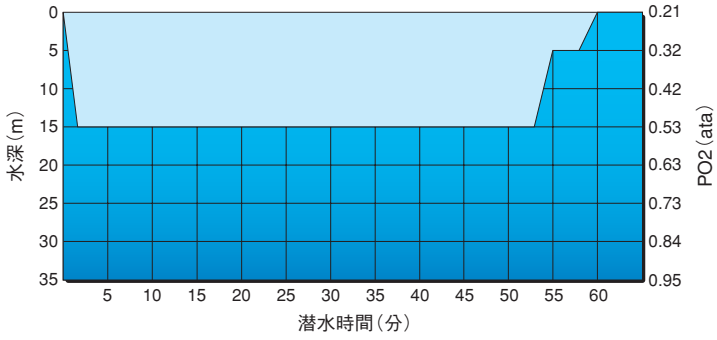
ダイブコンピューターにはダイブプランモードという機能がついていますので、潜水開始直前に最大水深時の無減圧潜水時間を確認することができます。**残留窒素バーグラフと、残留窒素排出時間から、体内の「遅い組織」にどれくらいの窒素が取り込まれているかを推測し、いかにそこに窒素を溜め込まないようにするかを考えながらダイビングをするように心がけましょう。また、ダイビングを終了してから、その日のうちに車で高所移動をしなければならない際は、ダイブコンピューターの「遅いコンパートメント」の窒素を30～33%以下まで減らすようなダイビング計画を立てましょう。**

潜水時間にも気をつけよう!（最も危険なダイビングパターンの一例）

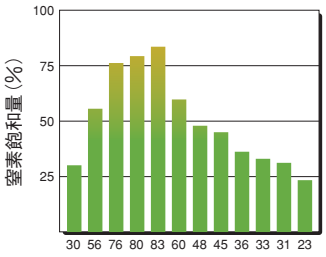
前章を読んで、浅くても、長い潜水が体内の「遅い組織」に窒素を取り込みやすいことを学びました。ここで、現実的に多くのダイバーが、無意識のままに窒素を取り込んでしまう危険なダイビングパターンをあげてみます。水深が浅いので、比較的エアー持ちが良いダイバーであれば、（実際には浮上はもう少しゆるやかになるでしょうが、）水中写真撮影などに熱中して、これに近いパターンを行う可能性があるものです。

最大水深15m、潜水時間60分の箱型ダイビングを3本反復した場合の潜水グラフと、1本目、2本目、3本目終了時点の体内窒素量

潜水グラフ（図22）

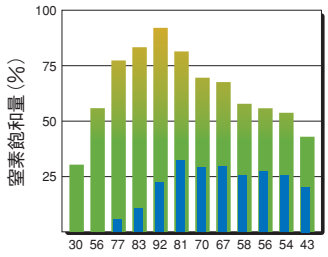


窒素飽和量グラフ



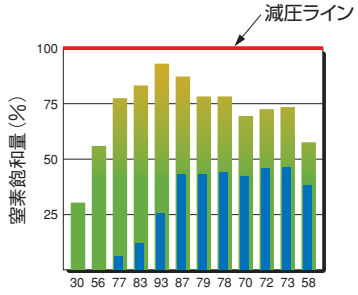
1本目終了時窒素量

（図23）



2本目終了時窒素量

（図24）



3本目終了時窒素量

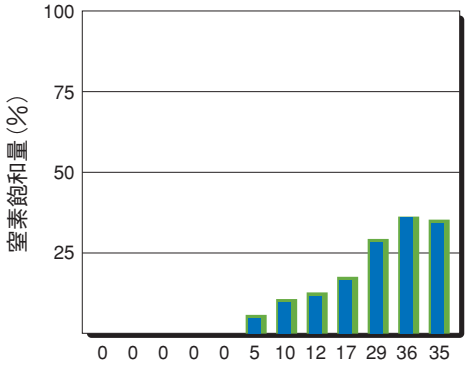
（図25）

（図22）の潜水グラフは、水深15mに潜水開始1分30秒後からずっと停滞して、終了5分前に、水深5mまで浮上し、3分間の安全停止をした後、ゆっくりと水面に浮上したという完全な箱型のダイビングパターンです。この潜水時間60分のダイビングを3本繰り返した場合をシミュレートしてみましょう。水深15mに60分の箱型潜水というパターンは、エアー持ちが良いダイバーはやりがちで、実際にダイコンの無減圧潜水指示を遵守しながら減圧症になってしまったダイバーに多く見られるケースです。

（図23～25）は、水面休息時間をそれぞれ1時間30分とってから、1本目と全く同じパターンで2本目、3

本目を潜った反復潜水終了時の窒素飽和量です。2本目（図24）は潜水終了間際に、「中間的なコンパートメント」がM値（減圧不要限界値）にかなり接近します。前章の水深19メートルの箱型潜水より、（潜水時間は長いですが、）「中間的なコンパートメント」から「遅いコンパートメント」への取り込みが目立ちます。更に、3本目（図25）を追加した場合には、潜水終了間際に「中間的なコンパートメント」がM値（減圧不要限界値）にかなり接近します。また、2本目終了時点より、「中間的なコンパートメント」から「遅いコンパートメント」へ万遍なく窒素が取り込まれて、どの組織も許容性のないラインにあることが分かります。1日3本の反復潜水のシミュレーションパターンを色々と試してみると、**現実にダイバーが行いそうな無減圧潜水パターンの中では、この潜水時間60分で水深15mにずっと貼り付くような反復ダイビングが、最も危ないと言えるかもしれません。**

窒素飽和量グラフ（図26）



（図26）は、潜水時間60分水深15mの箱型潜水を3本した後、6時間経過時の各コンパートメントの窒素量です。最も多いコンパートメントには、まだ36%の窒素が残っています。30%になるのが、7時間30分後、全ての窒素がなくなるのが、28時間後になります。**このような反復ダイビングをした後は、その日のうちに高所移動をすることは避けて、現地に宿泊することを強くおすすめします。**また、浮上スピードには細心の注意を払う必要があります。

さて、「水深と潜水時間の相関関係によって、体内に溶け込む窒素の量は決まる」と最初の方で書きましたが、水深が浅くなればなる程、その基本原理を忘れてしまうダイバーが多いようです。しかし、**浅い水深でも「遅いコンパートメント」は、殆どの場合、吸収方向へ計算されているのです。そして、その「遅いコンパートメント」に窒素を溜め込むことが、減圧症予防の観点から危険なことである**ことを、全てのダイバーは知っておく必要があります。

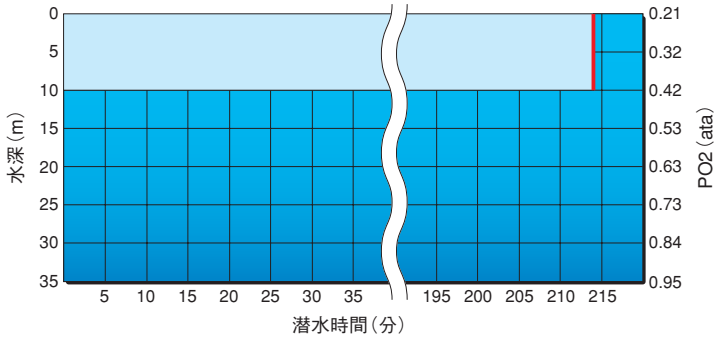
水深による減圧切り替わりコンパートメントの変化

各コンパートメントには最大の窒素許容圧力があります。これが前述のM値（減圧不要限界値）です。「速いコンパートメント」は「遅いコンパートメント」に比べて大きなM値を持っているために、より高い圧力に耐えられます。このため、浅い水深では窒素量（窒素飽和量）が100%に近づくことはないので、減圧に関わってくることはありません。**これに反して、「遅いコンパートメント」は、一般的なダイビングであれば、常に窒素が吸収方向に働いているので、浅い水深でも潜水時間が長いと減圧に関わってきます。**

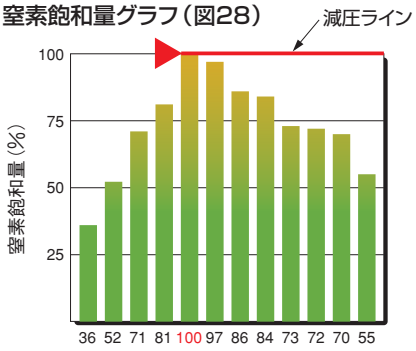
これが、最初の方で述べた「水深と時間の（複雑な）相関関係」です。言葉で表すと難しいので、これも分かりやすくシミュレーション例をあげてみます。この（複雑な）相関関係を理解すれば、自ずとダイブコンピューターの減圧計算式と周囲圧に対する人体の窒素の吸排出のメカニズムが見えてきます。ここまで理解すれば、もうあなたは減圧症にかかる危険性の極めて少ないダイバーになったと言うことができるでしょう。

水深10m箱型潜水の減圧切り替わりコンパートメント

潜水グラフ（図27）



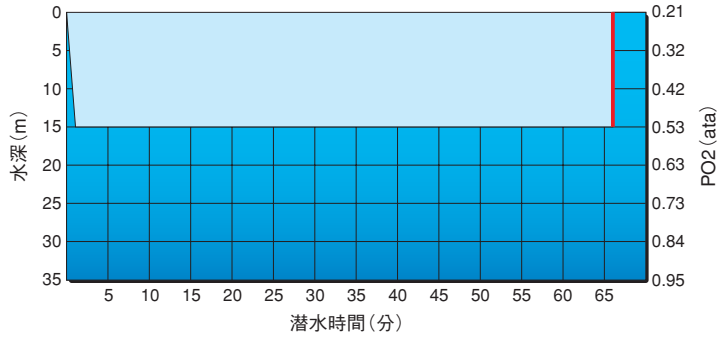
窒素飽和量グラフ（図28）



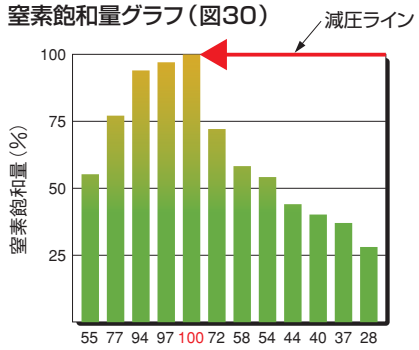
（図27）、（図28）は潜水開始40秒後から、水深10mに留まった場合に、どのコンパートメントが減圧に切り替わるかをシミュレートしたものです。減圧潜水に切り替わるのは、潜水開始214分後で、左から5つ目の「中間的なコンパートメント」が100%を超えて減圧となります。お分かりのように、**この水深では許容圧が高い「速いコンパートメント」は、左から4つ目の81%が最高値で、それ以上高くなることはありません。**前の章でも詳しく述べたように、潜水時間が長いために「遅いコンパートメント」に満遍なく窒素が溜まっています。また、左から6つ目のコンパートメントも97%と減圧切り替わりギリギリのラインまで迫っています。潜水時間が214分なので、現実のレジャーダイビングでは有り得ない例ですが、**この程度の浅い水深では「速いコンパートメント」は全く減圧に関わってこないことが良く分かります。**

水深15m箱型潜水の減圧切り替わりコンパートメント

潜水グラフ（図29）



窒素飽和量グラフ（図30）

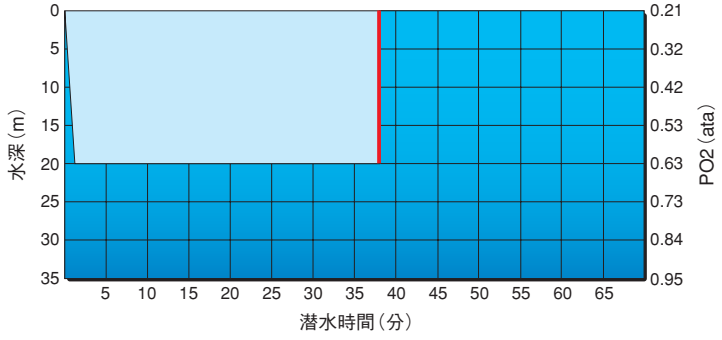


（図29）、（図30）は潜水開始60秒後から、水深15mに留まった場合に、どのコンパートメントが減圧に切り替わるかをシミュレートしたものです。減圧潜水に切り替わるのは、潜水開始66分後で、左から5つ目の「中間的なコンパートメント」が100%を超えて減圧となります。

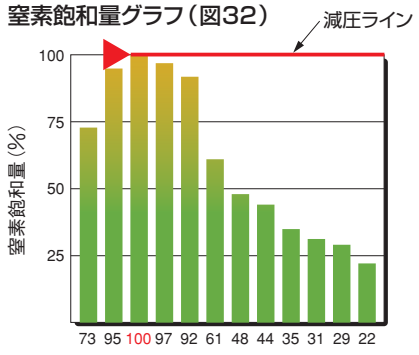
ここで注目すべきところは、**水深10mの場合と同じ、左から5つ目の「中間的なコンパートメント」が100%を超えて減圧となっているのに、前後のコンパートメントの窒素量の様子が全く異なることです。減圧潜水への切り替わり時間も、たった水深5mの違いで214分から66分と、いきなり現実的になってきます。**水深10mの時は97%と減圧ギリギリだった左から6つ目のコンパートメントは72%しかなく、代わって左から3番目と4番目の「速いコンパートメント」が減圧ギリギリになっていることが分かります。

水深20m箱型潜水の減圧切り替わりコンパートメント

潜水グラフ（図31）



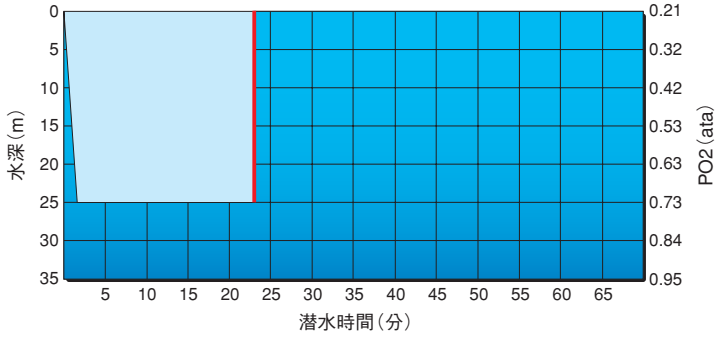
窒素飽和量グラフ（図32）



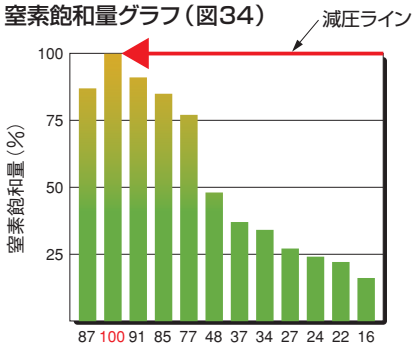
（図31）、（図32）は潜水開始80秒後から、水深20mに留まった場合に、どのコンパートメントが減圧に切り替わるかをシミュレートしたものです。減圧潜水に切り替わるのは、潜水開始38分後で、左から3つ目の「速いコンパートメント」が100%を超えて減圧となります。左から2番目から5番目までのコンパートメントが減圧に関わって来ていますが、潜水時間が短いために、6番目より遅いコンパートメントは、減圧には関わって来ません。

水深25m箱型潜水の減圧切り替わりコンパートメント

潜水グラフ（図33）

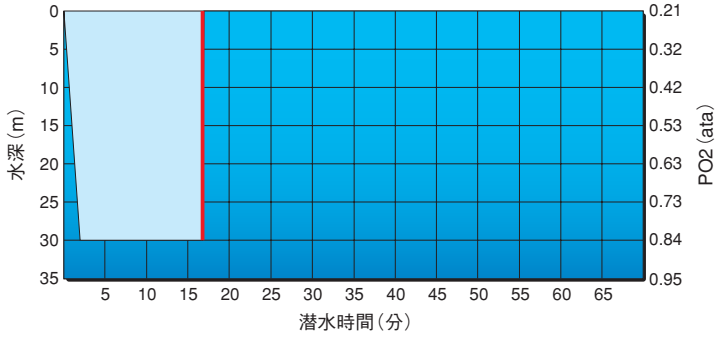


窒素飽和量グラフ（図34）

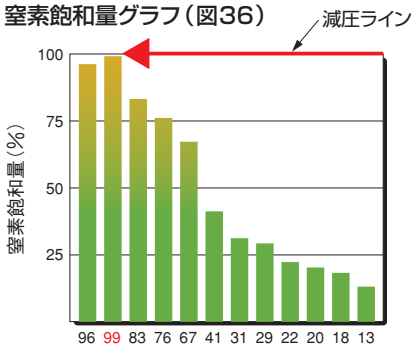


水深30m箱型潜水の減圧切り替わりコンパートメント

潜水グラフ（図35）



窒素飽和量グラフ（図36）



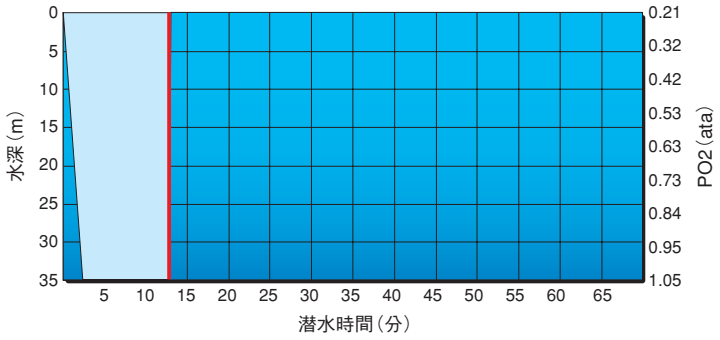
※水深30mのシミュレーション例では、ソフトのプログラミングの関係上、100%を出すことができないために99%となっています。

図33、図34と図35、図36は、潜水開始100秒後から、水深25mに留まった場合と、潜水開始120秒後から、水深30mに留まった場合に、それぞれ、どのコンパートメントが減圧に切り替わるかをシミュレートしたものです。減圧潜水に切り替わるのは、水深25mの場合（図34）が潜水開始23分後、また、水深30mの場合（図35）は潜水開始17分後で、両方とも左から2つ目の「速いコンパートメント」が100%を超えて減圧となります。また、水深30mになると、一番左の「最も速いコンパートメント」がようやく減圧ギリギリラインに迫って来ています。潜水時間が短いので、「遅いコンパートメント」には危険なレベルで窒素は溜まっていません。

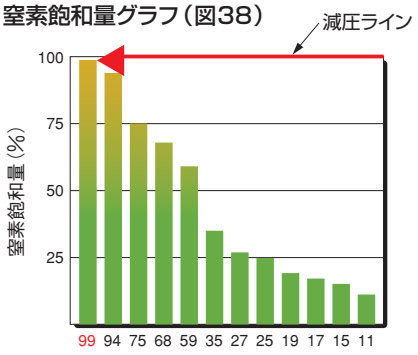
“ある意味、最も危ない「水深15～19mあたりの長い箱型潜水」”の章で、[常識的なパターンのダイビングをおこなった場合、水深30mを超えるような深いところで減圧潜水に切り替わった時は、「速い組織」が反応しているので、すぐに浮上して行けば減圧停止時間は短く、それ程「遅い組織」に窒素を溜め込むことはない。]と述べた意味が、良くお分かりになるのではないかと思います。

水深35m箱型潜水の減圧切り替わりコンパートメント

潜水グラフ（図37）



窒素飽和量グラフ（図38）



※水深35mのシミュレーション例では、ソフトのプログラミングの関係上、100%を出すことができないために99%となっています。

レジャーダイビングの最大水深は30mまでに留めるべきですが、「最も速いコンパートメント」が減圧に切り替わる（M値を超える）のは水深何メートルかを見てみましょう。

図37、図38は潜水開始140秒後から、水深35mに留まった場合に、どのコンパートメントが減圧に切り替わるかをシミュレートしたものです。**ここでようやく一番左の「最も速いコンパートメント」が13分後に100%を超えて減圧となり、「速いコンパートメント」から「遅いコンパートメント」に向かって段階的に体内窒素量が少ない状態になります。**

さて、水深35mにもなれば、誰もが危険意識を抱くところですが、このような状態で減圧潜水に切り替わったとしても、許容性のない「遅いコンパートメント」にはそれほど窒素は溜まっていないので、減圧停止指示に従って浮上して行けば、さほど危険な状態にはなりません。ところが、**危険意識が薄れて、エアーも長持ちする水深15m～19mのあたりの長い箱型潜水を繰り返しすると、例えダイブコンピューターが示す無減圧潜水時間を遵守したとしても、許容性のない「遅いコンパートメント」にギリギリの窒素を溜め込むことになります。そのような状態になった時にこそ、浮上速度違反やダイビング後の高所移動によって、減圧症にかかる可能性が増大する**と考えられるのです。

ちょっと難しい部分もあったかもしれませんが、いかがでしたか？
とにかく、このように、水深と潜水時間の相関関係によって、コンパートメントごとの窒素量がめまぐるしく変化することを頭に描けるようになれば、きっとあなたは今までより飛躍的に安全なダイビングができるようになることでしょう。**無減圧潜水時間を遵守するということは、すなわち十分な安全マージンを取るということであって、ダイブコンピューターが示す無減圧潜水時間ギリギリまで潜れると考えてはいけないのです。**

減圧症を助長する要因（順不同）（参考文献6、参考文献7）

窒素が引き起こす減圧症には、発症を助長する様々な要因があると言われています。急浮上をしないこと、ダイブコンピューターを使って残留窒素量をコントロールすることが、減圧症予防の観点からは大切なことですが、これらの要因を考慮して回避することも非常に大切です。

要因①：激しい運動

激しい運動をすると、心拍数が高くなり、血液の循環に影響が出ます。ダイビング前や、ダイビング中に激しく動き回ると、血液の循環が良くなることで、窒素の吸収と排出に悪影響が出ます。ダイビング後も窒素排出に影響が出るので、**呼吸が乱れるような激しい運動はできる限り避けるべきです。**強い流れがある場所でのダイビングや、長い距離を水中移動するようなダイビングはできるだけ避けて、無理せず、リラックスできるダイビングを心がけてください。ダイバーそれぞれの技量に見合ったダイビングが肝心です。

要因②：脱水症状

脱水症状を起こすと、血液の循環が悪くなります。これにより窒素を排出するための血液の量が減ってしまい、排出が遅れてしまいます。また、要因④のアルコール摂取も脱水症状を引き起こします。ですから、**ダイビング前には水分の補給が大切です。**水分と言っても、お茶やコーヒーは、利尿作用があるので、反って脱水症状を招くことがあります。ダイビングの際にはミネラルウォーターを携行し、水分補給を十分にすることが大切です。トイレが気になり、水分補給をしないダイバーがいますが、それは減圧症予防の観点から言えば危ない考え方です。

要因③：低水温（低体温）

水温が低い時にダイビングをすると、身体が冷えることで手足などの血液の循環が通常より悪くなります。これにより、窒素の排出に悪影響を与えます。水が冷たい時はグローブやフードなどを上手に利用して身体が冷え過ぎるのを防ぎましょう。また、寒い時期にはドライスーツを有効に活用し、**水中で寒いと感じた時には無理をせず、早目にダイビングを切り上げましょう。**

要因④：アルコール摂取、薬の服用

ダイビングの前、またはダイビング終了直後にアルコールを摂取すると、血液の循環が急激に速まり、かつ不規則な循環になります。要因①～③までを見てもわかるように、血液循環への影響が窒素の吸収と排出に悪影響を及ぼすことは明確です。ダイビング前夜の宴会や深酒などはもっての外です。薬を服用することも、同様の現象を招くことがあります。

要因⑤：エギジット直後の熱いお風呂

いきなり温泉に飛び込まないこと

ダイビングエリアによっては、エギジットポイント近くに温泉やバスタブなどを備えている所があります。しかし、エギジット直後に冷え切った体のまま、熱い温泉やお風呂にいきなり飛び込んだりすると、急激な温度変化により皮膚の毛細血管を膨張させ、身体の他の部分から血液を一時的に奪うことになります。つまり、皮膚部分 に通常以上の血液循環が生じることで、身体の他の部分での、窒素の排出が通常よりも遅れることになります。エギジット直後に熱い温泉やお風呂に飛び込むのは、減圧障害を考えると適切ではありません。特に、体内に多くの残留窒素がある場合には注意が必要です。**かかり湯を十分にして、できるだけ段階的に体を温めるようにしてください。**

要因⑥：ケガや病気、疲労

ケガも病気も、身体の局部的な血液の循環に影響を与える可能性があります。これにより窒素を排出する時の身体の対応能力に悪影響が出ます。ケガや持病がある方は、事前に必ず医師に相談をするようにしてください。

要因⑦：二酸化炭素の増加

ダイビング中に呼吸が乱れたり、**息を止めた状態が続くと、血液中の二酸化炭素が増加し、窒素の排出が妨げられます。**息を止めることは肺の過膨張にもつながりますし、酸欠で頭痛を引き起こしたりします。減圧症を予防するために、息をこらえる（エアーの消費を抑えて、窒素の取り込みを減らす）ことはナンセンスです。**エアー持ちが気になる人は、他のダイバーより常に若干浅い所にいることで、エアーの消費を少し抑えることができます。**また、何よりも大切なのは、エアーの消費が早い人は、そのことを恥ずかしく思ったり、気にしたりしないことです。

要因⑧：肥満

脂肪は窒素が溶け込みにくい「遅い組織」とされていますが、量的には水分の多い組織に比べて、より多くの窒素が溶け込むとされています。そのため、体脂肪率の高い人は、体脂肪率の低い人よりも減圧症にかかる可能性が高いと言われています。健康のためにも、日頃から食生活の節制と適度な運動を心掛け、肥満には注意しましょう。

要因⑨：高年齢

年齢を重ねるにつれて循環系統の機能が衰え、窒素の排出が遅くなります。また年齢とともに体重が増加し、体脂肪率が高くなった場合は、要因(の脂肪組織への影響につながります。スクーバダイビングは、老若男女を問わずに楽しめる素晴らしいレジャーですが、高年齢の方は、より体内の「遅い組織」に窒素を溜め込まないようなダイビングを心がけることが肝心です。殆どのダイブコンピューターには、安全度（TUSAのダイブ

コンピューターの場合は、ユーザーセーフティーファクター）を高くできる設定があります。安全度を高く設定して、表示される「無減圧潜水時間」をより厳しくしたり、ナイトロックスを使用したりして、安全なダイビングを心がけましょう。

要因⑩：長い間の窒素の蓄積

減圧症例は複雑で、単に浮上速度違反や高所移動などが原因だとは言い切れないものがあります。特に職業ダイバーは、長年のダイビングの繰り返しによって知らず知らずのうちに体内組織に微小な窒素を溜め込んでいることがあると推測されており、そういった窒素が、小さな要因で減圧症を引き起こすのではないかと言われています。また、一般ダイバーにおいても、減圧症の発症には至らなかったものの、体内に排出し切れなかった窒素が残ってしまっていて、それが、やはりちょっとした要因で減圧症を引き起こすことがあると言われています。**そういった窒素の蓄積を抑えるためにも、日頃から体内の「遅い組織」に窒素を溜め込まないようなダイビングを心がけることは、大切なことだと言えます。**

要因⑪：ダイビング後の飛行機搭乗や高所移動と高所でのダイビング

飛行機搭乗や高所移動は、先に詳しく述べたとおり、体内に溶け込んでいた窒素が周囲圧低下で膨張することになり、減圧症の原因そのものとなります。飛行機に搭乗する際は、ダイブコンピューターの残留窒素排出時間がゼロになって、飛行機搭乗禁止マークが消えている必要が最低限あります。ダイビング終了後に高所移動（山越え）をする場合は、体内の「遅い組織」にできるだけ窒素を溜め込まないようなダイビングを心がけます。そして、高所移動をする時点で、ダイブコンピューターの「遅いコンパートメント」の残留窒素が30～33%以下に下がるまで、十分な休憩時間をとります。一方、標高300m以上の高所でダイビングをおこなう場合には、特に大気圧が下がるため、海でのダイビングに比べて減圧要件が厳しくなり、減圧症にかかりやすくなるので注意が必要です。

減圧症を予防するための心得

これまで書いてきたことは、ちょっと専門的な内容があって、難しかったかもしれませんね。では、最後にまとめの形で、減圧症を予防するための心得を、実際にダイビングに出かけた時に取るべき行動に照らし合わせて、分かりやすく書いてみます。想定は、**ダイビングをして、その日のうちに高所移動をして帰るケースです。**

ダイビング前（日常生活）

減圧症を誘発する要因の一つに肥満があります。また、運動不足でダイビングに臨むのは色々な意味で良くないので、日頃からメタボ対策を兼ねて適度に運動をして、体を鍛えておく必要があります。減圧症は血液の循環状態が作用しますので、日頃から偏食を避けて、魚や野菜など、血行を良くすると言われている食物を摂取することも大切です。ダイブコンピューターの中にはバッテリー交換がメーカー（2週間～3週間程度必要）しかできないものも多いので、ダイビングに出かける前には、早目にバッテリーの残量をチェックしておきます。

ダイビング前日

当日の朝に家を出るようでは睡眠不足になる時は、できるだけ前泊をして睡眠を十分にとり、コンディションを整えます。前夜の宴会や深酒は絶対にしてはいけません。女性の場合は、生理も減圧症の要因になることがあると言われていますので、生理中のダイビングは避けた方が無難です。また、車で高所移動（山越え）をする時は、事前にその道路の最高地点の標高を調べておきます。できるだけ標高の低いルートを選択するとともに、ダイビングを終了してから何時間後に高所移動するかまで考えて、次の日の潜水計画を立てる必要があります。

ダイビング当日

朝起きたら、まずは体調をチェックします。体調が悪い時は、無理にダイビングをすることは、色々な意味で危険です。また、薬の中には服用することによって、血液の流れに影響を及ぼすものがあるので、飲む必要がある場合には医師に相談します。当日、2本ダイビングをする時は、例えば水面休息中に食事をはさまないようにし、ダイビング終了後（高所移動前）に減圧をかねてゆっくりと現地で食事をとるようにするなどの計画性を持たせます。当日現地で宿泊をせずに日帰りする時は、3本潜るのは避けた方が無難ですが、もしも潜る時は、より減圧のことを考えた潜水計画を立てます。

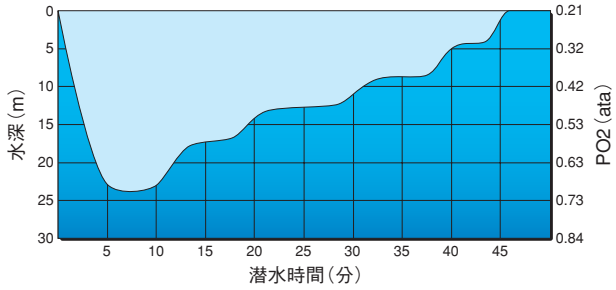
©サントリー

意外に大切なのは、ミネラルウォーター（コーヒーやお茶は不可）を用意して、小まめに水分補給をすることです。脱水症状は、血液の流れが悪くなって、減圧症の要因となることがあるからです。ダイビングを開始する前には、必ず準備運動をして体をほぐします。1日3本潜る時は、ナイトロックスタンクを使って、余裕のあるダイビングをすると安全率が高くなります。TUSAのダイブコンピューターであれば、ユーザーセーフティーファクターを有効活用するのも良いでしょう。

ダイビング中

ダイビングの基本パターンは、初めに最大水深（レジャーダイビングにおいては30mが限度）に達して、後はゆっくりと浮上していくパターン（図39）です。これ以外の潜水パターン（箱型、のこぎり型、リバース型など）は、いかに無減圧潜水の範囲内であっても、減圧症にかかる可能性が増します。また、反復潜水をする際は、必ず2本目、3本目と徐々に最大水深を浅くしていくように潜水計画を立てます。減圧症患者例から考えると、潜水時間は45分以内、平均水深はその日の最大が15m以内にして、段階的に浅くなるように計画しておくと無難です。また、帰りに高所移動（山越え）をするまでの時間も理論上短くできます。ガイドダイバーについて潜る場合は、ブリーフィングの際に、その日の潜水計画と減圧に対しての考え方をよく確認します。

潜水グラフ（図39）



模範潜水パターン

※模範的な潜水パターンについては、TUSAダイブコンピューターIQ-800,700の取扱説明書のはじめに詳細が書かれています。
取扱説明書はTUSAホームページからダウンロードできます。
http://www.tusa.net/manual/index2.html

潜水中に最も注意を払わなければいけないのが、とにかく浮上速度です。特に、水深が浅いところほど水圧変化が大きいことを頭に入れておく必要があります。また、ダイビング中は、ダイブコンピューターの無減圧潜水時間は、残圧計と同じくらい注意して見ます。無減圧潜水時間は最低10分以上（最大水深時の話です。浅くなるに従って、20分、30分と余裕を取るようにします。）残して、常に窒素を溜め込まないようなダイビングを心がけます。もちろん、絶対に減圧潜水に切り替わらないようなダイビングをします。

また、器材にトラブルが発生して急浮上が起こる場合があります。日頃からトラブルが起きても慌てないように、対応法を知っておくことも必要です。TUSAホームページ「器材トラブル対応」をご覧ください。
http://www.tusa.net/trouble/index01.html

ダイビング終了15分前には水深10mより浅いところに浮上して、浅場でのんびり10分間減圧。更に水深5mで3分間の安全停止をおこなった後、残りの5mを2分近くかけてゆっくりと浮上します。また、ダイビング中は常にリラックスしたダイビングを心がけ、流れの強い場所や、長い水中移動はできるだけ避けるようにします。以上のようなダイビングを心がければ、体内の窒素が気泡化したり、「遅い組織」に窒素を溜め込んだりすることは極めて少ないはずです。

水面休息中

水面休息時間は、各ダイビングの合間にできるだけ長くとります。1本目の前と同様に、ミネラルウォーターを飲んで水分を補給します。潜水開始の少し前に、ダイブプランモードで最大水深時の無減圧潜水時間を確認し、残留窒素バーグラフと残留窒素排出時間（飛行機搭乗禁止時間）から、特にダイブコンピューターの「遅いコンパートメント」への窒素の溶け込み量を推測して、次のダイビング計画を立てます。

ダイビング終了後

ダイビング終了後に車で高所移動をする時は、「遅いコンパートメント」の残留窒素がM値に対して30%～33%以下になるように時間を調整します。ログづけをしたり、食事や観光を楽しんだり、温泉にのんびり浸かったりしながら、体内に溶け込んだ窒素が安全なレベルに排出されるまでゆっくりと待ち、できるだけ標高の低いルートを通って帰ります。

現行のダイコンの足りない点を知ろう

さて、ここまで読んでみていかがでしたか？ 中には「そんなことは知っているよ。」と言う方も当然いることでしょう。しかし、殆どの方に「知らなかった。」と思った内容があったはずです。そして、ダイブコンピューターが世の中に出てくるまでは、年間20～30人の時もあった東京医科歯科大学医学部附属病院（高気圧治療部）の減圧症の患者数が、現在では400人前後にも増加してしまった理由の一端を垣間見ることができたはずです。（参考文献４） ダイブテーブルを見ながら潜水計画を立てていた時代には少なかった減圧症患者が増えた理由は、間違いなくダイブコンピューターの「無減圧潜水時間を守りさえすれば大丈夫」という誤った認識が、ダイバーに蔓延していることにあります。それは取りも直さず、窒素の吸排出のメカニズムを知らないまま、限界ギリギリまで窒素を溜め込んでダイビングをする人が多いことを意味しています。ダイブテーブルは確かに厳しいですが、厳し過ぎると考えるのは、間違っている面があります。

ダイブコンピューターのアルゴリズムは進化し続けて、最近はマイクロバブルやディープストップなどの新しい理論も取り入れられ始めています。しかし、言葉は乱暴かもしれませんが、それよりも、根本的に現在のダイバーの多くが、本当の意味でダイブコンピューターを安全に使いこなしていないことにこそ問題があります。そして、一方で、現行の一般ユーズのダイブコンピューターの表示法に足りない点があるのも事実です。足りない点を知ってそれを補い、**ダイバーの皆さんが正しくダイブコンピューターを使いこなすようになれば、きっと減圧症にかかる危険性が大きく減るはず**です。

現行のダイコンに足りない点

①潜水中の表示がメインとなっているため、無減圧潜水時間さえ守っていれば良いという意識に終わってしまい、水面休息時間中やダイビング終了後の減圧管理が疎かになっています。減圧症はダイビング終了後の高所移動によっても多く起こっているので、**ダイビング中から水面休息時間中、そして、ダイビング終了後のトータルな減圧管理が大切**です。無減圧潜水時間ギリギリまで潜ってはいけないのです。

②残留窒素表示があるものでも、コンパートメントごとに表示していないために、残留窒素の状態を正確に把握することができません。減圧症になる原因は、浮上速度違反以外は、一言で言ってしまうと、「体内に過剰な窒素があるから」。特に、**許容性のない「遅いコンパートメント」に窒素を溜め込まないようにすることが、減圧症を予防する上では非常に重要**です。

③ダイビング終了前に浅い所に浮上してくると、無減圧潜水時間が“バー表示や一定の最大値”になる（TUSAのIQ-800,700ダイブコンピューターでは最大値200）ものが多く、全てがリセットされるような感覚に陥りがちです。一定の最大値にするのは、いたずらに長い表示を出すよりは、限度があるように見せた方が

良いという判断ですが、一方では常にリセットされているような感覚を与えてしまっているのは事実です。しかし、ダイビングを1本した時点で着実に体内には窒素が残り、反復潜水を重ねれば重ねるほど、減圧症にかかる可能性が高まっていくということを、全てのダイバーが認識するべきです。**浅い所に来ると、危険な感覚がなくなってしまう「リセット感覚」を持たないようにすることが大切**です。

市場にある現行のダイブコンピューターでは、言わば、「あと○○分潜れる」という感覚で無減圧潜水表示が表示されています。しかし、減圧症を予防する観点からすれば、**「今、体内組織にこれだけの窒素量が取り込まれている。よって、あと○○分で体内に取り込んだ窒素が減圧不要限界点を越えてしまう。」という感覚をユーザーは常に持つ必要があります。**

繰り返しになりますが、減圧症を防ぐためには、浮上速度違反をしないことと、体内の「遅い組織」＝ダイブコンピューター上の「遅いコンパートメント」に過剰に窒素を取り込まないようなダイビングを心がけることが大切なのです。ただし、**「遅い組織」に窒素を溜め込まないようなダイビングを心がけることによって、今までのダイビングスタイルが大きく変わってしまうということはない**でしょう。何故なら、ほとんどのダイバーの方がギリギリのダイビングをしている訳ではないからです。**あと少しの注意によって安全性は大きく向上する**のです。
「遅いコンパートメント」に窒素を溜め込まないように、少しだけダイビングの軌跡を変えてあげれば、それだけで十分なのです。

ご注意

●この「減圧症の予防法を知ろう」の内容は、東京医科歯科大学医学部附属病院（高気圧治療部）や安全潜水を考える会が発表している減圧症患者のダイブプロファイルやその他の各種減圧症に関する文献を参考に、数々のダイブシミュレーションを行って株式会社タバタが推奨するものです。“ダイブテーブルをひいていた時代”に比べて、ダイブコンピューターが普及してから減圧症患者が激増したのは、体内に窒素を取り込み過ぎるダイバーが増えたのではないかという考えに基づいて、**株式会社タバタが著述したもので、減圧症の専門医が著述したものではありません。**

●減圧症は、かかりやすい体質、かかりにくい体質といった個人の生理的差異や、前述のような様々な発症要因が関係するので、100%発症を防ぐことはできないと言えます。この「減圧症の予防法を知ろう」の内容は、あくまでも、現在よりも発症の可能性を大幅に低減させることを目的として書かれています。

参考文献、出典一覧

参考文献1：第7回潜水医学講座小田原セミナー論文集27　2006.1.
ワークショップ「身体と健康管理・精神的な問題点」
レジャーダイバーの実態から見た問題点と安全管理
東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部 山見信夫

参考文献2：第5回潜水医学講座小田原セミナー論文集17　2004.1.
減圧障害の発生とダイビングプロフィール
東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部 山見信夫

参考文献3：日本臨床スポーツ医学会誌、1999.2.
関東に在住するスポーツダイバーの特異的な潜水活動 - 特に潜水後の高所移動による減圧症の発症について
東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部 山見信夫、眞野喜洋　駒沢女子大学 芝山正治他

参考文献4：第6回安全潜水を考える会セクション1
減圧症治療に伴う治療費の国際比較
東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部 眞野喜洋

参考文献5：第6回安全潜水を考える会セクション4
改正　潜水後の高所移動と標高
駒沢女子大学　芝山正治

参考文献6：第9回潜水医学講座小田原セミナー論文集37　2008.1.
ダイビングの安全指針
東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部 山見信夫

参考文献7：第8回潜水医学講座小田原セミナー論文集33　2007.2.
減圧障害の発生機序　その予防と治療
防衛医科大学校防衛医学研究センター異常環境衛生研究部門　鈴木信哉

出典1：第8回潜水医学講座小田原セミナー論文集34　2007.2.
ダイビング終了後の高所移動
駒沢女子大学　芝山正治